

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
8. August 2002 (08.08.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/061854 A2

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 31/18,  
31/068, 21/311

(74) Anwälte: HOFFMANN.EITLE usw.; Arabellastrasse 4,  
81925 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/01096

(22) Internationales Anmeldedatum:  
1. Februar 2002 (01.02.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
101 04 726.6 2. Februar 2001 (02.02.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS & SHELL SOLAR GMBH [DE/DE];  
Otto-Hahn-Ring 6, 81739 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MÜNZER, Adolf  
[DE/DE]; Stadionstrasse 152, 85716 Lohhof (DE).  
SCHLOSSER, Reinhold [DE/DE]; Moosburgerstrasse  
14, 80993 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,  
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,  
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,  
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,  
SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),  
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,  
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),  
OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

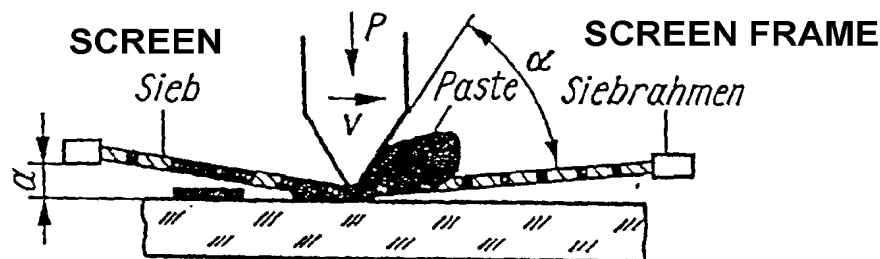
Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR STRUCTURING AN OXIDE LAYER APPLIED TO A SUBSTRATE MATERIAL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR STRUKTURIERUNG EINER AUF EINEM TRÄGERMATERIAL AUFGEBRACHTEN  
OXIDSCHICHT



(57) Abstract: The invention relates to a method for structuring an oxide layer applied to a substrate material. The aim of the invention is to provide an inexpensive method for structuring such an oxide layer. To this end, a squeegee paste that contains an oxide-etching component is printed on the oxide layer through a pattern stencil after silk screen printing and the printed squeegee paste is removed after a predetermined dwelling time.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Strukturierung einer auf einem Trägermaterial aufgetragenen Oxidschicht. Um eine derartige Oxidschicht auf kostengünstige Weise zu strukturieren, wird nach dem Siebdruckverfahren eine Siebdruckpaste, die eine oxidätzende Komponente enthält, durch eine Druckschablone auf die Oxidschicht gedruckt und die aufgedruckte Siebdruckpaste nach einer vorgegebenen Einwirkungszeit wieder entfernt.



WO 02/061854 A2



---

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## Verfahren zur Strukturierung einer auf einem Trägermaterial aufgetragenen Oxidschicht

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Strukturierung einer auf einem Trägermaterial aufgetragenen Oxidschicht.

Das Problem der Strukturierung von Oxidschichten auf einem Trägermaterial stellt sich beispielsweise bei der Herstellung von Solarzellen. Eine kristalline Silizium-Solarzelle besteht üblicherweise aus einem p-leitenden Substrat, in das auf der Vorderseite eine homogen dicke Schicht einer n-leitenden Substanz, beispielsweise Phosphor, eindiffundiert wird. Auf der Vorder- und der Rückseite des Wafers wird zur Ableitung des unter Lichteinfall erzeugten Stroms eine metallisch leitende Kontaktierung aufgebracht. Im Hinblick auf eine kostengünstige und massenfertigungstaugliche Herstellungsweise wird die Kontaktierung üblicherweise mittels der Siebdrucktechnik erzeugt.

Bei der Höhe der n-Dotierung müssen zwei an sich entgegengesetzte Randbedingungen in Einklang gebracht werden.

Zur Anwendung der Siebdrucktechnik für den Vorderseitenkontakt ist es wichtig, eine ausreichend hohe n-Dotierung vorzusehen. Ist die Dotierung des Siliziums zu niedrig, so wird der Übergangswiderstand zwischen dem Silizium und der Kontaktierung zu hoch. Dies hätte zur Folge, dass der Serienwiderstand der Solarzelle ansteigt, was dann zu einem sinkenden Füllfaktor der Hellkennlinie der Solarzelle führt. Auf der anderen Seite führt eine zu hohe n-Dotierung zu einer Erniedrigung der Blauempfindlichkeit der Solarzelle, was eine frühzeitige Rekombination von Ladungsträgern und damit eine Absinkung des Wirkungsgrads zur Folge hätte.

Um diese beiden entgegengesetzten Randbedingungen in Einklang zu bringen, wird bei der n-Dotierung eine sogenannte selektive Emitterstruktur vorgeschlagen. Hierbei wird der flächenmäßig nur sehr kleine Anteil unter der Vorderseitenkontaktierung mit einer hohen n-Dotierung versehen, während die anderen Bereiche mit einer niedrigen n-Dotierung versehen werden, um eine hohe Blauempfindlichkeit zu gewährleisten.

Um diese selektive Emitterstruktur in den oben beschriebenen Aufbau einer kristallinen Silizium-Solarzelle zu integrieren, ist eine Maskierung erforderlich, die beispielsweise durch eine strukturierte Oxidschicht realisiert werden kann. Diese Oxidschicht muss allerdings in einem eigens dafür erforderlichen Prozessschritt erzeugt werden.

Es ist bekannt, Oxidschichten nach der photolithographischen Methode oder mit Laserstrahlen zu strukturieren. Diese Verfahren sind allerdings verhältnismäßig kostenaufwendig und

daher für eine Anwendung im Low-Cost Solarzellenbereich nicht geeignet.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem eine auf einem Trägermaterial aufgebrachte Oxidschicht auf kostengünstige Weise strukturiert werden kann. Insbesondere ist es Aufgabe der Erfindung, ein kostengünstiges Verfahren zum Herstellen einer Solarzelle mit einer selektiven Emitterschicht bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach dem Patentanspruch 1 sowie eine Siebdruckpaste nach dem Patentanspruch 19 gelöst. Bevorzugte Verwendungen des Verfahrens ergeben sich mit dem Verfahren gemäß den Patentansprüchen 5 und 9. Bevorzugte Verwendungen der Siebdruckpaste ergeben sich gemäß den Patentansprüchen 25, 26 und 27.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Strukturierung einer auf einem Trägermaterial aufgebrachten Oxidschicht wird nach dem Siebdruckverfahren eine Siebdruckpaste, die eine oxidätzende Komponente enthält, durch eine Druckschablone auf die Oxidschicht gedruckt und die aufgedruckte Siebdruckpaste nach einer vorgegebenen Einwirkungszeit wieder entfernt.

Erfindungsgemäß wird also das an sich bekannte Siebdruckverfahren dazu verwendet, um eine auf einem Trägermaterial aufgebrachte Oxidschicht zu strukturieren. Hierzu wird die Siebdruckpaste mit einer oxidätzenden Komponente versehen. Auf allen Flächenbereichen, die mit der Paste bedruckt werden, wird das Oxid geätzt, auf nicht-bedruckten Flächenbereichen bleibt das Oxid dagegen erhalten.

Der Ätzprozess wird durch Waschen der Siliziumscheibe in Wasser bzw. einem geeigneten Lösemittel beendet. Dieser Prozess kommt also ohne die sonst zur Strukturierung verwendeten Photo-Resistmasken mit den zugehörigen Prozessschritten oder aufwendigen Lasergeräten zur Strukturierung aus, sondern benötigt lediglich eine Siebdruckvorrichtung. Der Prozess ist daher automatisierbar und für die kostengünstige Produktion von großen Stückzahlen im industriellen Maßstab geeignet.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform besteht die oxidätzende Komponente aus Flusssäure (HF) und/oder aus Ammoniumfluorid ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) und/oder aus Ammoniumhydrogenfluorid ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ). Flusssäure ist eine wässrige Lösung von Fluorwasserstoff, HF. Handelsübliche Flusssäure enthält etwa 40 Gew.-% HF und löst Quarz und Silicate. Flusssäure (HF) und/oder aus Ammoniumfluorid ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) und/oder Ammoniumhydrogenfluorid ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ) können daher zum Ätzen von Glas und Metallen und insbesondere zum Ätzen von Siliziumoxid verwendet werden.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die oxidätzende Komponente einen Anteil von 10 - 20 Volumenprozent an der Siebdruckpaste aufweist. Es hat sich gezeigt, dass mit diesem Anteil die Einwirkzeit besonders gut steuerbar ist. Je nach Dicke der Oxidschicht beträgt die Einwirkzeit beispielsweise zwischen 30 s und 2 min.

Eine weitere erfindungsgemäße Lösung besteht in einem Verfahren zum Herstellen einer Solarzelle mit einer

selektiven Emitterschicht auf der Lichteinfallseite und umfasst die folgenden Schritte:

- Erzeugen einer Oxidschicht auf einem p-dotierten Wafer,
- Strukturierung der Oxidschicht mit dem oben beschriebenen erfindungsgemäßen Siebdruckverfahren unter Verwendung einer Siebdruckpaste mit einer oxidätzenden Komponente,
- Einbringen einer selektiven hohen n-Dotierung in den strukturierten Bereichen,
- Entfernen der Oxidschicht,
- Einbringen einer ganzflächig schwachen n-Dotierung über die selektiven hohen n-Dotierungen, und
- Kontaktierung der Lichteinfallseite nach dem Siebdruckverfahren in Bereichen der selektiven hohen n-Dotierung.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird die n-Dotierung durch eine Phosphor-Dotierung eingebracht. Das beim Einbringen der Phosphor-Dotierung entstehende Phosphorglas ( $\text{POCl}_3$ ) wird vorzugsweise in einem nachfolgenden Ätzschritt wieder entfernt.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die Vorderseite mit einer Silbersiebdruckpaste kontaktiert.

Bei einer industriell nach dem Stand der Technik hergestellten Solarzelle wird die Vorderseite mit

Siebdrucktechnik kontaktiert. Dies erfordert eine Dicke der diffundierten n-Schicht von ca.  $0.3 \mu\text{m}$  mit einer Phosphor-Oberflächenkonzentration im Bereich von  $10^{20}$  Atomen/ $\text{cm}^3$ . Durch die Tiefe und die Oberflächenkonzentration der n+-Schicht wird auch ihre Empfindlichkeit im kurzwelligen Teil des eingestrahlten Sonnenspektrums bestimmt. Soll die Blauempfindlichkeit weiter gesteigert werden, d.h. die Kurzschlussstromdicht erhöht werden, so müssen die Eindringtiefe und die Oberflächenkonzentration des Phosphors der n+-Schicht erniedrigt werden. Das hat dann zur Folge, dass der Kontaktwiderstand zwischen der Ag-Metallisierung und der n-dotierten Siliziumschicht ansteigt, was sich dann wiederum in einem sinkenden Füllfaktor der Hellkennlinie der Solarzelle und damit durch abnehmende Effizienz äußert.

Ein Weg, bei abnehmender Phosphor-Oberflächenkonzentration einen geringen Übergangswiderstand zwischen dem Silizium und der Metallkontaktierung zu gewährleisten, besteht in der Verwendung von Zwischenschichten von Metallen mit niedrigen Barrierenhöhen, z.B. Nickel oder Titan. Das bedeutet jedoch auch den Übergang zu anderen Metallisierungstechnologien wie z.B. der stromlosen Metallabscheidung oder der Aufdampftechnik. Diese Verfahren sind allerdings nicht massenfertigungstauglich und außerdem mit deutlich höheren Fertigungskosten belastet.

Der hier vorgeschlagene Weg zur Herstellung von kristallinen Silizium-Solarzellen mit Siebdruckkontakten und erhöhter Blauempfindlichkeit besteht darin, die n+-Schicht in zwei Bereiche aufzuteilen. Der eine, flächenmäßig weit überwiegende Anteil der Waferoberfläche zwischen den metallisierten Bereichen, wird nur schwach mit Phosphor dotiert, um eine hohe Blauempfindlichkeit zu gewährleisten.



Der andere, flächenmäßig nur sehr kleine Anteil der Waferoberfläche unter der Metallisierung wird stark mit Phosphor dotiert, um einen niedrigen Kontaktwiderstand sicherzustellen. Die Verwendung einer Siebdruckpaste mit einer oxidätzenden Komponente ermöglicht auch hier eine kostengünstige Fertigung der selektiven Emitterschicht durch einfache Strukturierung der Oxidschicht.

Ein weiteres Problem ist die Kontaktierung der Rückseite einer Solarzelle. Bei der Siebdruckkontaktierung der Solarzellenrückseite muss Silizium mit einer Grunddotierung um  $1.5 \times 10^{16}$  Atomen/cm<sup>3</sup> mit Ag verbunden werden. Dies gelingt nur mit einem hohen Übergangswiderstand, der allerdings den Füllfaktor der Solarzelle stark beeinträchtigt. Um den Übergangswiderstand zu reduzieren, muss die Dotierung des Siliziums auf der Waferrückseite in den Bereich von ca.  $10 \times 10^{19}$  Atomen/cm<sup>3</sup> angehoben werden. Dazu existieren unterschiedliche Verfahren.

Bei Solarzellen ohne Back Surface Field (BSF) wird die Dotierung der Rückseite durch eine Beimischung von Aluminium in die Ag-Siebdruckpaste erzeugt. Aluminium bildet mit Silizium schon bei ca. 577°C eine Legierung. Bei Einbrennen der Metallisierung bildet der Aluminiumanteil der Ag-Paste bei Temperaturen oberhalb ca. 577°C mit dem Silizium eine Schmelze. Bei Abkühlung nach dem Einbrennen rekristallisiert die Schmelze, wobei das verfestigte Silizium bis zur Löslichkeitsgrenze im Bereich von  $10 \times 10^{19}$  Atomen/cm<sup>3</sup> mit Aluminium dotiert wird. Bei dieser Dotierungskonzentration kann Silizium mit niedrigem Übergangswiderstand mit Ag kontaktiert werden.

Eine andere Klasse stellen die Solarzellen mit Back Surface Field (BSF) dar. Beim Versuch, die Dicke von Siliziumsolarzellen zu reduzieren, wird ein abnehmender Wirkungsgrad der Solarzelle beobachtet. Dies ist zum einen auf die bei dünnerer Absorptionslänge nicht mehr vollständige Absorption des Sonnenlichts zurückzuführen. Zum anderen werden vermehrt Ladungsträger in der Nähe der Rückseite erzeugt, wobei Minoritätsladungsträger durch Diffusion die Rückelektrode erreichen können und dadurch den durch die Majoritätsladungsträger erzeugten Strom reduzieren. Durch eine hochdotierte Schicht auf der Rückseite ist es möglich, ein der Diffusion der Minoritätsladungsträger entgegenwirkendes Feld, ein sogenanntes Back-Surface-Field (BSF) zu erzeugen. Bei einem Solarzellenaufbau mit einem p-dotierten Solarzellenkörper und einem n+-dotierten Emitter an der Lichteinfalls- bzw. Vorderseite der Solarzelle ist dazu eine p+-Dotierung an der Rückseite erforderlich. Zu deren Erzeugung wird vielfach Aluminium vorgeschlagen, welches sich als dünne Schicht zum Beispiel durch Aufdampfen auf der Rückseite aufbringen und durch einen Tempersschritt eintreiben bzw. einlegieren lässt. Möglich ist es auch, die p+-Dotierung durch das Aufbringen aluminiumhaltiger Rückkontakte und entsprechendes Eintreiben des Aluminiums zu erzeugen. Weiterhin ist es möglich, Aluminium aus einer Feststoff-Diffusionsquelle in das Solarzellensubstrat einzudiffundieren. Diese ist allerdings mit dem Nachteil verbunden, dass das Solarzellensubstrat auf beiden Seiten aluminiumdotiert wird, wobei eine p+pp+-Struktur erzeugt wird.

Auch Bor ist zur Erzeugung einer p-Dotierung geeignet. Ein entsprechendes Back-Surface-Field kann dabei durch Gasdiffusion einer entsprechend flüchtigen bzw. gasförmigen

Borverbindung, durch Aufbringen einer borhaltigen Siliziumschicht auf der Rückseite oder durch Aufbringen einer flüssigen dotierstoffhaltigen Lösung erzeugt werden. Bei den für das Eintreiben der Dotierung erforderlichen Temperaturen wird jedoch aufgrund der hohen Flüchtigkeit der Borverbindungen stets eine Rundum-Diffusion beobachtet, die durch eine Maskierung der nicht zu dotierenden Solarzellenbereiche verhindert werden muss.

Aus der DE 33 40 874 C2 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Back-Surface-Fields bekannt, bei dem der entsprechende Dotierstoff aus einer dotierstoffhaltigen Schicht in den Halbleiterkörper eingetrieben wird.

Die Herstellung eines Back-Surface-Fields durch direkte Diffusion oder durch Eintreiben aus einer Dotierstoffschicht ist aus der US 4,158,591 bekannt. Die nicht zu dotierende Oberfläche des Wafers kann dabei durch Abdecken mit einem zweiten Wafer geschützt werden.

Die verfahrensmäßig einfach herzustellende p+-Dotierung mit Aluminium hat den Nachteil einer erhöhten Korrosionsanfälligkeit. Im Laufe der Zeit können sich aluminiumhaltige Schichtbereiche zersetzen und ablösen, was zur Beschädigung der Rückseitenkontakte und zur Reduzierung der Solarzellenleistung führen kann. Eine Lösung dieses Problems ist aus DE 195 08 712 C2 bekannt. Die grundlegende Idee ist hier, die p+-Dotierung des Back-Surface-Fields durch Austreiben von Bor aus einer borhaltigen Diffusionsquellschicht zu erzeugen. Die nicht gewünschte Dotierung von Rändern und Vorderseite des Wafers wird verhindert, indem das Austreiben in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre bei hohen Temperaturen von 900 bis 1200°C

vorgenommen wird. Unter diesen Bedingungen bildet sich an Rändern und Vorderseite des Wafers sofort eine Oxidschicht aus, die zur Maskierung dient und damit die unerwünschte Dotierung an diesen Stellen verhindert. Nach dem Eintreiben kann sowohl die Oxid- als auch die Diffusionsquellschicht durch einen einfachen Ätzschritt entfernt werden.

Als weitere Lösung der Erfindung wird nunmehr vorgeschlagen, diese sich ohnehin bildende Oxidschicht bei der Erzeugung des Back-Surface-Fields zur Maskierung der Vorderseite bei der Herstellung einer selektiven Emitterschicht zu nutzen.

Eine weitere erfindungsgemäße Lösung besteht daher in einem Verfahren zum Erzeugen einer Solarzelle mit einer selektiven Emitterschicht auf der Lichteinfallseite und einem Back-Surface-Field auf der Rückseite, umfassend die folgenden Schritte:

- Aufbringen einer Bor als Dotierstoff enthaltenden Diffusionsquellschicht auf der Rückseite eines Wafers aus Silizium,
- Behandeln des Wafers in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre bei einer Temperatur von 900 bis 1200°C zum Erzeugen einer Oxidschicht und zum Eintreiben des Dotierstoffs,
- Strukturierung der Oxidschicht mit dem oben beschriebenen erfindungsgemäßen Siebdruckverfahren unter Verwendung einer Siebdruckpaste mit einer oxidätzenden Komponente,

- Einbringen einer selektiven hohen n-Dotierung in den strukturierten Bereichen,
- Entfernen der Diffusionsquellschicht und der Oxidschicht,
- Einbringen einer ganzflächig schwachen n-Dotierung,
- Auftrennen n-Dotierung am Rand des Wafers,
- Kontaktierung der Lichteinfallseite nach dem Siebdruckverfahren in Bereichen der selektiven hohen n-Dotierung und
- Aufbringen eines Rückkontakts auf der Rückseite.

Das an sich bekannte Verfahren zur Herstellung eines BSF-Feldes aus der DE 195 08 712 C2 kann also besonders vorteilhaft mit der erfindungsgemäßen Strukturierung einer Oxidschicht kombiniert werden, da sich die Oxidschicht zur Maskierung beim Eintreiben der BSF-Dotierung ausbildet, ohne dass ein weiterer Prozessschritt erforderlich ist.

Ansonsten ergeben sich alle weiteren Vorteile des aus der DE 195 08 712 C2 bekannten Verfahrens.

Beispielsweise ist zu beachten, dass die Erzeugung des Back-Surface-Fields (BSF) vor der Erzeugung des Halbleiterübergangs erfolgt, also vor der Eindiffusion von Phosphor auf der Vorderseite der Solarzelle. Die gewählten hohen Temperaturen sorgen für ein tiefes Eintreiben der Bordotierung. Diese ist dann auch gegenüber sämtlichen

folgenden Herstellungsschritten der Solarzelle stabil, welche bei deutlich niedrigeren Temperaturen durchgeführt werden.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich bei der Herstellung des Übergangs durch Eindiffusion von Phosphor. Diese kann rundum, also auf beiden Seiten und an den Rändern des Wafers erfolgen. Es ist also auch für die Phosphordiffusion weder eine Maskierung, noch eine Abdeckung von Schichtbereichen erforderlich, um eine unerwünschte Dotierung in bestimmten Bereichen auszuschließen. Die tief eingetriebene BSF-Dotierung wird nur oberflächlich vom Phosphor überkompensiert.

Mit dem aluminiumhaltigen Material des Rückseitenkontakts wiederum gelingt es, beim Einbrennen des Rückseitenkontakts zur p+-Schicht durchzukontaktieren und dabei im Bereich des Rückseitenkontaktes die phosphor-dotierte n-Schicht wieder zu kompensieren. Der Rückseitenkontakt kann dabei strukturiert oder ganzflächig aufgebracht werden.

Die Diffusionsquellschicht ist eine borhaltige Schicht, aus der sich das Bor thermisch austreiben lässt. Vorzugsweise wird die Diffusionsquellschicht mit Hilfe eines Bordotierlacks aufgebracht. Dieser enthält neben Bor oder seinen Verbindungen noch pulveriges  $\text{SiO}_2$  in einer Aufschlammung. Dieser Dotierlack dient üblicherweise zum Erzeugen hoher Dotierungen bei Leistungshalbleitern. Er kann flüssig aufgebracht und beispielsweise aufgeschleudert werden. Eine andere Möglichkeit besteht in der Verwendung einer Bordotierpaste, die in einem Siebdruckverfahren aufgebracht wird. Die Verwendung und Verarbeitung von Dotierpasten ist beispielsweise in WO 00/54341 beschrieben.

Vorzugsweise ist die Rückseite der Solarzelle hydrophob und damit oxidfrei eingestellt. Auf diese Oberfläche wird der Dotierlack in möglichst dünner Schicht aufgebracht und getrocknet. Dadurch wird verhindert, dass die Diffusionsquellschicht beim Eintreiben Risse bildet oder gar abplatzt. Mit einer homogenen und unbeschädigten Diffusionsquellschicht wird eine homogene Dotierung der Rückseite erreicht.

Das Eintreiben des Bors aus der Diffusionsquellschicht in die Solarzelle erfolgt bei 900 bis 1200°C, vorzugsweise bei 1000 bis 1100°C. Diese Eintreibtemperatur liegt über den an sich für Solarzellen üblichen Eintreibtemperaturen.

Für die Anwendung des Bordotierlacks werden üblicherweise die Bauelemente bzw. Wafer einseitig mit dem Lack beschichtet und so in einem Stapel übereinander gelegt, so dass dabei jeweils zu dotierende bzw. nicht zu dotierende Oberflächen übereinander zu liegen kommen. So soll eine Dotierung der jeweils gegenüberliegenden Oberfläche verhindert werden, ohne dass eine Maskierung erforderlich ist. Dieses vorgeschlagene Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass die Bauelemente bzw. Wafer bei den hohen erforderlichen Eintreibtemperaturen zusammenbacken und anschließend mechanisch oder chemisch voneinander getrennt werden müssen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist weder eine Maskierung noch eine Abdeckung der nicht zu dotierenden Bereiche durch Stapeln erforderlich. Beim Eintreiben der Dotierung sind die Solarzellen (Wafer) im Abstand zueinander angeordnet, so dass kein Zusammenbacken erfolgen kann.

Beim Eintreiben der Dotierung muss die Atmosphäre sauerstoffhaltig sein. Vorzugsweise wird unter reiner Sauerstoffatmosphäre gearbeitet. Damit sich die Oxidschicht sofort ausbilden kann, werden die Solarzellen direkt in einen auf die Eintreibtemperatur vorgeheizten Ofen eingebracht. Nach der schnellen Ausbildung des Oxids kann die Sauerstoffatmosphäre durch andere Gase, beispielsweise durch Stickstoff ersetzt werden.

Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ergibt sich aus der hohen Affinität einer Oxidschicht gegenüber Bor, die größer ist als diejenige von Silizium gegenüber Bor. Dies bewirkt, dass gegebenenfalls beim Eintreiben der Dotierung in die Atmosphäre entweichendes flüchtiges Bor von der Oxidschicht absorbiert wird und nur geringfügig in die von der Bordotierung auszuschließenden Oberflächenbereiche eindringen kann.

Nach dem Abkühlen werden sowohl Diffusionsquellschicht als auch Oxidschicht entfernt, beispielsweise durch einen HF-Dip.

Der für die Solarzelle erforderliche Halbleiterübergang wird durch Eindiffusion von Phosphor erzeugt. Dies kann durch Rundumdiffusion erfolgen, wobei neben der n-dotierten Emitterschicht auf der Vorderseite auch auf der Rückseite ein flacher n-dotierter Schichtbereich entsteht. Das beim Einbringen der Phosphor-Dotierung entstehende Phosphorglas ( $\text{POCl}_3$ ) wird vorzugsweise in einem nachfolgenden Ätzschritt wieder entfernt.

Da bei der Eindiffusion des Phosphors bei ca. 800 bis 900°C eine wesentlich niedrigere Temperatur als beim Eintreiben des Bors eingestellt wird, bleibt auf der Rückseite der



Solarzelle die mit eins bis fünf  $\mu\text{m}$  wesentlich tiefere p+-Dotierung unter der ca. 0,2  $\mu\text{m}$  tiefen n-Dotierung erhalten.

Um ein funktionsfähiges Halbleiterbauelement zu erhalten, muss die n-Dotierung am Rand der Solarzelle aufgetrennt werden.

Damit werden Kurzschlüsse und daraus resultierende Leistungsverluste der Solarzelle vermieden. Zum Auftrennen können die Solarzellen übereinander gestapelt werden und für kurze Zeit einem Ätzplasma ausgesetzt werden.

Um einen funktionsfähigen Rückseitenkontakt zu erhalten, muss auf der Rückseite die p+-Schicht durch die n-Schicht hindurch kontaktiert werden. Dies wird mit einem Rückseitenkontakt erreicht, der ca. 1 bis 3 Gewichtsprozent Aluminium enthält. Das Aluminium dringt beim Einbrennen des Rückkontakts in die Rückseite der Solarzelle ein und erzeugt dort eine p+-Dotierung, die unterhalb des Rückkontakts die n-Dotierung überkompensiert. Somit ist ein niederohmiger Anschlussbereich unterhalb des Rückkontakts erzeugt, der für eine gute Stromableitung während des Betriebs der Solarzelle sorgt.

Der für eine funktionsfähige Solarzelle noch fehlende stromableitende Kontakt an der Vorderseite (Vorderseitenkontakt) kann in bekannter Weise vor, während oder gleichzeitig mit dem Rückseitenkontakt oder nach dem Einbrennen des Rückseitenkontakts hergestellt werden.

Eine weitere Lösung der Erfindung besteht in einer Siebdruckpaste, gekennzeichnet durch ein Bindemittel und eine oxidätzende Komponente.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform weist die Siebdruckpaste eine Viskosität zwischen 10 und 500 Pa·s, vorzugsweise zwischen 50 und 200 Pa·s auf.

Die Viskosität ist dabei der stoffabhängige Anteil des Reibungswiderstands, der beim Verschieben benachbarter Flüssigkeitsschichten der Bewegung entgegenwirkt. Nach Newton

ist der Scherwiderstand (Schubspannung  $\tau = \eta \frac{\partial u}{\partial y}$ ) in einer

Flüssigkeitsschicht zwischen zwei parallel angeordneten und relativ zueinander bewegten Gleitflächen proportional dem

Geschwindigkeits- bzw. Schergefälle  $G = \frac{\partial u}{\partial y} \left( \approx \frac{u}{h} \right)$ , mit der

Gleitgeschwindigkeit  $u$  und dem Gleitflächenabstand  $h$ . Der

Proportionalitätsfaktor  $\eta$  ist eine Stoffkonstante, die als dynamische Viskosität bezeichnet wird. Nach

Definitionsgleichung hat  $\eta$  die Dimension mPa · s. Bei

newtonschen oder reinviskosen Flüssigkeiten ist  $\eta$  druck- und temperaturabhängig. Dabei wird der Abhängigkeitsgrad von der stofflichen Zusammensetzung bestimmt. Inhomogen

zusammengesetzte Flüssigkeiten oder Substanzen haben nicht-newtonsche oder strukturviskose Eigenschaften. Die Viskosität dieser Stoffe ist zusätzlich vom Schergefälle  $G$  abhängig.

Nach einer weiteren bevorzugten Ausführungsform besteht das Bindemittel aus Tapetenkleister. Es hat sich gezeigt, dass Tapetenkleister sich gut als umweltverträgliches Bindemittel eignet, wobei sich die Viskosität über die Zugabe von Wasser genau einstellen lässt. Als handelsüblicher Tapetenkleister kann beispielsweise Metylan® der Firma Henkel verwendet werden. Als oxidätzende Komponente kann Flusssäure (HF) und/oder aus Ammoniumfluorid (NH<sub>4</sub>F) und/oder

Ammoniumhydrogenfluorid ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ) dem Tapetenkleister beigemischt werden. Die oxidätzende Komponente weist vorzugsweise einen Anteil von 10 - 20 Volumenprozent an der Siebdruckpaste auf.

Alternativ ist es beispielsweise auch denkbar, dass das Bindemittel aus einem Epoxidharz besteht. Epoxidharze werden als Lackbindemittel vielfach eingesetzt und sind auch als Bindemittel für Siebdruckpasten bekannt, beispielsweise aus US 4,486,466. Die Offenbarung des Dokuments US 4,486,466 wird hierbei in die vorliegende Anmeldung durch Verweis einbezogen. Das Dokument US 4,486,466 offenbart eine säurebeständige Siebdruckpaste, in die erfindungsgemäß eine oxidätzende Komponente, beispielsweise aus Flusssäure ( $\text{HF}$ ) und/oder aus Ammoniumfluorid ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) und/oder aus Ammoniumhydrogenfluorid ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ), beigemischt werden kann. In der US 4,486,466 sind darüber hinaus eine Reihe von Modifizierungsmitteln genannt, über die sich die Eigenschaften der Siebdruckpaste steuern lassen. So dienen Fließpromotoren dazu, die Bildung von "Fischaugen" zu verhindern. Siebungspromotoren dienen als presserleichternder Zusatz. Geliermittel dienen dazu, die Viskosität der Siebdruckpaste in der erwünschten Weise einzustellen. In US 4,486,466 wird ein gelartiger Zustand beschrieben, der bei der Durchführung des Siebdruckverfahrens ein Fließen der Siebdruckpaste zeigt und im Ruhezustand ohne Anwendung äußerer Kräfte einen verfestigten, nicht-fließenden Zustand der Siebdruckpaste zeigt.

Als weitere Offenbarungen für Siebdruckpasten werden die Dokumente US 4 327 167, US 5 292 619, US 5 454 861, US 5 472 910, US 4 271 258, US 4 510 276, US 4 504 607, US 4 551 488,

US 4 499 163, US 4 927 736, EP 0 891 127 A2, EP 0 860 742 A1, EP 0 713 357 A1, EP 0 174 555 A2 und WO 96/19012 genannt.

Bevorzugte Verwendungen der erfindungsgemäßen Siebdruckpaste ergeben sich für die oben beschriebenen Verfahren zur Strukturierung einer auf einem Trägermaterial aufgetragenen Oxidschicht, zum Herstellen einer Solarzelle mit einer selektiven Emitterschicht auf der Lichteinfallseite und zum Erzeugen einer Solarzelle mit einer selektiven Emitterschicht auf der Lichteinfallseite und einem Back-Surface-Field auf der Rückseite.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher beschrieben. In diesen zeigt:

- Fig. 1            die Siebdrucktechnik nach dem Absprungverfahren,
- Fig. 2            die Siebdrucktechnik nach dem Kontaktdruckverfahren,
- Fig. 3            einen Schnitt durch ein direktes Emulsionssieb,
- Fig. 4            einen Schnitt durch ein indirektes Emulsionssieb,
- Fig. 5            die Darstellung von Parametern an einem Siebgewebe,
- Fig. 6 - 11      verschiedene Verfahrensstufen anhand von schematischen Querschnitten durch eine Solarzelle,

Fig. 12 - 15 erzeugte Dotierprofile einer Solarzelle an Vorderseite (VS) und Rückseite (RS) und

Fig. 16 eine fertige Solarzelle im schematischen Querschnitt.

Mit Siebdruck werden zähflüssige Pasten durch ein feinmaschiges Sieb, das die Druckschablone enthält (oder geätzte Metallsiebe), auf ein Trägermaterial gedruckt. Bei dem Siebdruckverfahren nach der Dickschichttechnik erfolgt als weiterer Schnitt noch das Einbrennen, wobei die elektrischen und mechanischen Eigenschaften festgelegt werden (Schichtdicken 10 bis 25  $\mu\text{m}$  für die getrocknete Schicht). Das Einbrennen erfolgt bei dem erfindungsgemäßen Siebdruckverfahren nicht, statt dessen wird die Siebdruckpaste nach einer vorgegebenen Einwirkzeit mit einem geeigneten Lösungsmittel wieder abgewaschen.

Als Druckarten gibt es den Druck mit Absprung oder den Kontaktdruck. Fig. 1 zeigt die Siebdrucktechnik nach dem Absprungverfahren. Der Absprung  $a$  des Siebes beträgt üblicherweise einige 100  $\mu\text{m}$  mit einem Anstellwinkel  $\alpha$  zwischen der Kante des Rakels, die die Siebdruckpaste über das Sieb schiebt, und dem Sieb. Das Sieb wird durch einen Siebrahmen gehalten, während das Rakel mit der Rakelgeschwindigkeit  $v$  und dem Rakeldruck  $P$  über das Sieb geführt wird. Hierbei wird die Siebdruckpaste über das Sieb geschoben. Fig. 2 zeigt die Siebdrucktechnik nach dem Kontaktdruckverfahren. Das Sieb liegt hierbei auf dem Substrat auf, wobei das Rakel mit einem geringeren Rakeldruck über das Sieb bewegt wird. Nach dem Bewegungsende  $E$  erfolgt das Abheben des Rakels vom Sieb. Das Sieb wird mit einem

Siebspanngerät mit hydraulischer/pneumatischer Zug- und Klemmvorrichtung gleichmäßig gespannt. Die Kontrolle der Siebspannung erfolgt durch definierten Durchhang des Siebes einer bestimmten Fläche bei einem bestimmten Gewicht mit einer Messuhr. Mit speziellen pneumatischen/hydraulischen Druckmaschinen lassen sich der Rakeldruck (P), die Druckgeschwindigkeit (V), der Absprung (a) und der Weg des Rakels (horizontal und vertikal, Anstellwinkel) mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad der Arbeitsschritte für Versuchs- und Produktionsbetrieb einstellen.

Im folgenden wird die einfache Mischung einer Ätzpaste auf der Basis eines handelsüblichen Tapeten-Kleisters (z.B. Metylan® der Firma Henkel) beschrieben: 5 g eines Pulvers eines handelsüblichen Tapeten-Kleisters werden mit 150 ml Wasser verrührt. Nach etwa einer halben Stunde wird in diesen Kleister eine Mischung aus Ammoniumfluorid und Flusssäure eingerührt, und zwar  $5\text{g NH}_4\text{F} + 25\text{ ml HF } 40\%$ . Diese Mischung ist nach ca. einer Stunde fertig zum Ätzen. Mit einer solchen Ätzpaste kann nach dem Siebdruckverfahren ein thermisches  $\text{SiO}_2$  von ca. 100 nm Dicke in etwa 1 min selektiv entfernt werden. Die Ätzung wird durch Eintauchen des Si-Wafers in Wasser und kräftiges Spülen mit Hilfe eines fein verteilten Wasserstrahls beendet.

Drucksiebe zur Durchführung der Siebdrucktechnik bestehen üblicherweise aus Kunststoff- oder Stahldrahtgeweben mit je nach erforderlicher Schichtdicke entsprechenden Drahtdurchmessern und Maschenweiten. Diese Gewebe werden mit fotosensiblen Materialien direkt oder indirekt strukturiert. Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch ein direktes Emulsionssieb, Fig. 4 dagegen einen Schnitt durch ein indirektes Emulsionssieb. Für den Druck feinsten Linien und bei

notwendiger hoher Präzision aufeinanderfolgender Drucke werden Metallmasken eingesetzt, die ebenfalls direkt oder indirekt mit einer Lochstruktur versehen werden.

Fig. 5 zeigt die Darstellung von Parametern an einem Siebgewebe mit Drahtdurchmesser  $D$  und Maschenöffnung  $o$ . Ein Siebparameter ist die Mesh-Zahl:

Maschen je Zoll,	z.B.	M250 = 250 Maschen je Zoll
	Oder	T100 = 100 Maschen je cm.

Die gedruckte Schichtdicke beträgt näherungsweise  $0,5 \times D$ .

Fig. 6 - 11 zeigen verschiedene Verfahrensstufen anhand von schematischen Querschnitten durch eine Solarzelle,

Fig. 6 zeigt den Ausgangswafer 1 mit einer aufgetragenen Dotierlackschicht 2. Für die Solarzelle wird beispielsweise ein Wafer aus p-dotiertem Cz-Silizium mit  $\langle 100 \rangle$ -Orientierung gewählt. Bei diesem kann durch eine kurze, basische kristallorientierte Ätzung eine Texturierung auf der Oberfläche erzeugt werden, die die Lichteinfallsgometrie zur Verhinderung von Reflexion verbessert (in der Fig. 6 nicht dargestellt). Auf der Rückseite RS wird nun eine dünne Dotierlackschicht 2 (zum Beispiel Siodop<sup>®</sup>, Firma Merck) aufgeschleudert und getrocknet.

Fig. 7 zeigt den Prozessschritt der BSF-Bildung. Der vorbereitete Wafer gem. Fig. 6 wird in eine Horde eingestellt und in einen auf 1000 bis 1100°C vorgeheizten Ofen eingebracht. Im Ofen ist eine reine Sauerstoffatmosphäre eingestellt, so dass sich unmittelbar auf allen nicht von der Bordotierlackschicht 2 bedeckten Oberflächen des Wafers 1

eine Oxidschicht 4 ausbildet. Gleichzeitig wird Bor aus der Dotierlackschicht 2 ausgetrieben und diffundiert in die Rückseite RS des Wafers 1 ein. Dabei bildet sich ein ca. 1 bis 5  $\mu\text{m}$  tiefes p+-dotiertes Gebiet 5 aus.

Fig. 8 zeigt die Strukturierung der Oxidschicht 4 gemäß dem oben beschriebenen Siebdruckverfahren mit einer Ätzpaste. Nach Abwaschen der Ätzpaste verbleiben die strukturierten Bereiche 9 und 10.

Fig. 9 zeigt den Schritt der hohen n+-Phosphor-Dotierung zur Ausbildung einer selektiven Emitterschicht. Die Oxidschicht 4 dient als Maskierung, so dass sich die hohe Phosphor-Dotierung nur in den Bereichen 11 und 12 ausbildet.

Fig. 10 zeigt die ganzflächige schwache Phosphor-Dotierung der Solarzelle, nachdem die Oxidschicht 4 sowie der Dotierlack 2 vom Wafer entfernt worden sind. Durch Eindiffusion von Phosphor (siehe Pfeile 6) wird ein rundum flacher n-dotierter Oberflächenbereich 7 erzeugt.

Fig. 11 zeigt die Kontaktierung der Rückseite des Wafers. Nach dem Auftrennen des n-Bereichs 7 am Rand der Scheibe durch Abätzen (beispielsweise in einem Plasma), wird ein Rückkontakt 3 aufgebracht. Dies erfolgt beispielsweise durch Siebdruck mit einer Paste, die neben Bindemitteln und oxidischen Zuschlägen leitfähige Silberpartikel sowie 1 bis 3 Gewichtsprozent Aluminium enthält. Nach dem Aufdrucken wird der Rückkontakt 3 bei ca. 700 bis 800°C eingebrannt. Dabei wird zusätzlich der in der Paste enthaltene Dotierstoff Aluminium in die Solarzellenrückseite eingetrieben und sorgt dort im Anschlussbereich 8 durch Überkompensation der n-Dotierung für eine p+-Dotierung und damit für einen guten



ohmschen Kontakt zwischen dem p+-Gebiet 5 und dem Rückkontakt 3.

Zusammengefasst ergeben sich die folgenden Verfahrensschritte bei der Herstellung einer Solarzelle mit einer selektiven Emitterschicht auf der Lichteinfallseite und einem Back-Surface-Field auf der Rückseite:

1. Vorbereitung einer Siliziumscheibe zur Prozessierung:  
Entfernen der durch das Sägen verursachten zerstörten Oberflächenschicht und Reinigung.
2. Aufbringen der Dotierstoff enthaltenden Schicht auf die Siliziumscheibe und Eindiffusion des Dotierstoffs in die Siliziumscheibe (BSF-Erzeugung).
3. Erzeugung einer Maskierungsschicht auf der Vorderseite der Siliziumscheibe. Die Eindiffusion von Bor auf der Scheibenrückseite erfolgt in einer oxidierenden Atmosphäre. Dadurch wächst auf der Scheibenvorderseite eine Oxidschicht, die danach zur Erzeugung der selektiven Emitterstruktur verwendet werden kann.
4. Herstellung einer Struktur zur Erzeugung eines selektiven Emitters durch Anwendung einer Ätzpaste.
5. Einbringen der hohen Phosphor-Dotierung in den Bereichen, die nachfolgend mit Siebdruck metallisiert werden.
6. Entfernen von Phosphor-Glas und Oxid-Maske.
7. Ganzflächige schwache Phosphor-Diffusion in den Bereichen zwischen den Metallkontakten.

8. Öffnen der n-leitenden Schicht am Rand der Siliziumscheibe zur elektrischen Trennung von Vorderseite und Rückseite der Solarzelle.

9. Elektrische Passivierung der Solarzellenvorderseite zur Erniedrigung der Oberflächenrekombination mit Oxid, Si-Nitrid oder anderen passivierenden Schichten.

10. Kontaktierung der Solarzelle mit Ag-Siebdruck. Auf der Solarzellenvorderseite muss die Ag-Metallisierung genau auf das Muster der hohen n+-Dotierung der Siliziumscheibe justiert werden.

11. Einbrennen der Kontaktmetallisierung.

Fig. 12 - 15 zeigen erzeugte Dotierprofile einer Solarzelle an Vorderseite (VS) und Rückseite (RS). Dabei ist die Dotierkonzentration jeweils gegen die Scheibendicke zwischen Rückseite RS und Vorderseite VS aufgetragen.

Fig. 12 zeigt das erzeugte Dotierprofil der Vorderseite der Solarzelle in Bereichen der Vorderseitenkontaktierung. Der Bereich 1 stellt die niedrige gleichmäßige ursprüngliche p-Dotierung des Wafers dar, während der Bereich 7 die hohe Phosphor-Dotierung in Bereichen der Vorderseitenkontaktierung darstellt. Fig. 13 zeigt demgegenüber das erzeugte Dotierprofil in den übrigen Bereichen der Vorderseite, das eine niedrigere Phosphor-Dotierung zur Steigerung der Blauempfindlichkeit aufweist.

Fig. 14 zeigt das erzeugte Dotierprofil an der Rückseite der Solarzelle vor dem Einbrennen des Rückkontakts. Der Bereich 1

stellt wieder die niedrige gleichmäßige ursprüngliche p-Dotierung des Wafers dar. Der Bereich 5 kennzeichnet die p+-Dotierung, die ca. 5  $\mu\text{m}$  in die Rückseite RS des Wafers eingetrieben ist. Die durch die Phosphordiffusion erzeugte gleichmäßige n-Dotierung 7 mit geringer Eindringtiefe von ca. 0,2  $\mu\text{m}$  bildet an der Vorderseite den Emitter aus und erzeugt an der Rückseite durch Überkompensierung der p+-Dotierung ebenfalls einen n-dotierten Bereich.

In Fig. 15 ist das Dotierprofil nach dem Einbrennen des Rückkontakts dargestellt, wobei der Rückkontakt im Schnittbereich der dargestellten Querschnittsebene liegt. Durch das Aluminium wird im Anschlussbereich die n-Dotierung der Rückseite überkompensiert, so dass ein durchgehend p+-dotierter Bereich 8 unterhalb des Rückkontakts entsteht. Ein guter ohmscher Kontakt des aufgedruckten und eingebrannten Rückkontakts zur Solarzelle ist somit gewährleistet.

Fig. 16 zeigt eine fertige Solarzelle im schematischen Querschnitt. Diese weist zumindest einen Vorderseitenkontakt 13 auf, sowie wahlweise eine Antireflexschicht 14 auf der Vorderseite, die beispielsweise aus einem Oxid oder aus Siliziumnitrid ausgebildet sein kann. Unter der Antireflexschicht 14 befindet sich eine Passivierungsschicht 15 bestehend aus einem Dünnschicht-Oxid. Der Rückkontakt 16 kann durchgehend oder optional unterbrochen mit einer dazwischenliegenden Rückseitenpassivierungsschicht ausgebildet sein. Die Passivierungsschichten können wahlweise vor dem Aufbringen von Vorder- und/oder Rückkontakt erzeugt werden. Aufgrund der hohen Oberflächendotierung wächst dabei ein Oxid besonders schnell, so dass zur Passivierung bereits mäßige Temperaturen und kurze Prozesszeiten ausreichend sind. Die selektive Emitterschicht 17 ist in Bereichen der

Kontaktfinger 13 mit einer n<sup>+</sup>-Dotierung und in den übrigen Bereichen mit einer gleichmäßigen n-Dotierung versehen.

## Ansprüche

1. Verfahren zur Strukturierung einer auf einem Trägermaterial aufgetragenen Oxidschicht, bei dem nach dem Siebdruckverfahren eine Siebdruckpaste, die eine oxidätzende Komponente enthält, durch eine Druckschablone auf die Oxidschicht gedruckt wird, und bei dem die aufgedruckte Siebdruckpaste nach einer vorgegebenen Einwirkungszeit wieder entfernt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die oxidätzende Komponente aus Fluorwasserstoffsäure (HF) und/oder aus Ammoniumfluorid ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) und/oder aus Ammoniumhydrogenfluorid ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ) besteht.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-2, dadurch gekennzeichnet, dass die oxidätzende Komponente einen Anteil von 10 - 20 Volumenprozent an der Siebdruckpaste aufweist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-3, dadurch gekennzeichnet, dass die Einwirkungszeit zwischen 30 s und 2 min beträgt.
5. Verfahren zum Herstellen einer Solarzelle mit einer selektiven Emitterschicht auf der Lichteinfallseite, umfassend die folgenden Schritte:

- Erzeugen einer Oxidschicht auf einem p-dotierten Wafer,
  - Strukturierung der Oxidschicht mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4,
  - Einbringen einer selektiven hohen n-Dotierung in den strukturierten Bereichen,
  - Entfernen der Oxidschicht,
  - Einbringen einer ganzflächig schwachen n-Dotierung über die selektiven hohen n-Dotierungen, und
  - Kontaktierung der Lichteinfallseite nach dem Siebdruckverfahren in Bereichen der selektiven hohen n-Dotierung.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die n-Dotierung durch eine Phosphor-Dotierung eingebracht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das beim Einbringen der Phosphor-Dotierung entstehende Phosphorglas ( $\text{POCl}_3$ ) in einem nachfolgenden Ätzschritt wieder entfernt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 - 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorderseite mit einer Silbersiebdruckpaste kontaktiert wird.
9. Verfahren zum Erzeugen einer Solarzelle mit einer selektiven Emitterschicht auf der Lichteinfallseite und

einem Back-Surface-Field auf der Rückseite, umfassend die folgenden Schritte:

- Aufbringen einer Bor als Dotierstoff enthaltenden Diffusionsquellschicht auf der Rückseite eines Wafers aus Silizium,
- Behandeln des Wafers in einer Sauerstoff enthaltenden Atmosphäre bei einer Temperatur von 900 bis 1200°C zum Erzeugen einer Oxidschicht und zum Eintreiben des Dotierstoffs,
- Strukturierung der Oxidschicht mit einem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4,
- Einbringen einer selektiven hohen n-Dotierung in den strukturierten Bereichen,
- Entfernen der Diffusionsquellschicht und der Oxidschicht,
- Einbringen einer ganzflächig schwachen n-Dotierung,
- Auftrennen n-Dotierung am Rand des Wafers,
- Kontaktierung der Lichteinfallseite nach dem Siebdruckverfahren in Bereichen der selektiven hohen n-Dotierung und
- Aufbringen eines Rückkontakts auf der Rückseite.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Diffusionsquellschicht ein Bordotierlack oder eine Bordotierpaste aufgebracht wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Diffusionsquellschicht und Oxidschicht durch Ätzen mit HF-Lösung entfernt werden.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Auftrennen der n-Dotierung am Rand des Wafers durch Abätzen der Außenränder erfolgt.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 12, dadurch gekennzeichnet, dass die n-Dotierung durch eine Phosphor-Dotierung eingebracht wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das beim Einbringen der Phosphor-Dotierung entstehende Phosphorglas ( $\text{POCl}_3$ ) in einem nachfolgenden Ätzschritt wieder entfernt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorderseite mit einer Silbersiebdruckpaste kontaktiert wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückseite mit einer Silbersiebdruckpaste kontaktiert wird, die 1 bis 3 Gewichtsprozent Aluminium enthält.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückseite in Bereichen derart kontaktiert ist, dass zwischen den von dem Rückkontakt



bedeckten Bereichen die Bordotierung von einer flacheren  $n^+$  Dotierung überkompensiert ist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 - 17, dadurch gekennzeichnet, dass eine Antireflexschicht auf der Lichteinfallseite und eine Passivierungsschicht auf der Rückseite aufgebracht ist.
19. Siebdruckpaste, gekennzeichnet durch ein Bindemittel und eine oxidätzende Komponente.
20. Siebdruckpaste nach Anspruch 19, gekennzeichnet durch eine Viskosität zwischen 10 und 500 Pa·s, vorzugsweise zwischen 50 und 200 Pa·s.
21. Siebdruckpaste nach einem der Ansprüche 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Bindemittel aus Tapetenkleister besteht.
22. Siebdruckpaste nach einem der Ansprüche 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Bindemittel aus einem Epoxidharz besteht.
23. Siebdruckpaste nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die oxidätzende Komponente aus Flusssäure (HF) und/oder aus Ammoniumfluorid ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) und/oder aus Ammoniumhydrogenfluorid ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ) besteht.
24. Siebdruckpaste nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dass die oxidätzende Komponente einen Anteil von 10 - 20 Volumenprozent an der Siebdruckpaste aufweist.

25. Verwendung einer Siebdruckpaste nach einem der Ansprüche 19 bis 24 für ein Verfahren zur Strukturierung einer auf einem Trägermaterial aufgetragenen Oxidschicht nach einem der Ansprüche 1 - 4.
26. Verwendung einer Siebdruckpaste nach einem der Ansprüche 19 bis 24 für ein Verfahren zum Herstellen einer Solarzelle mit einer selektiven Emitterschicht auf der Lichteinfallseite nach einem der Ansprüche 5 - 7.
27. Verwendung einer Siebdruckpaste nach einem der Ansprüche 19 bis 24 für ein Verfahren zum Erzeugen einer Solarzelle mit einer selektiven Emitterschicht auf der Lichteinfallseite und einem Back-Surface-Field auf der Rückseite nach einem der Ansprüche 8 - 16.

1/8

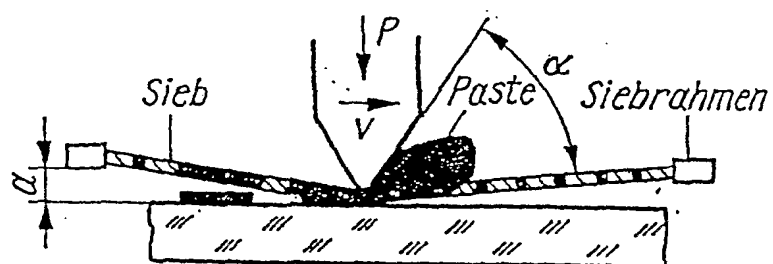


Fig. 1

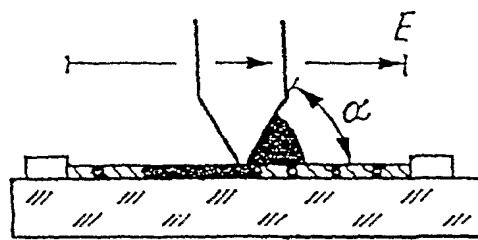


Fig. 2

2/8

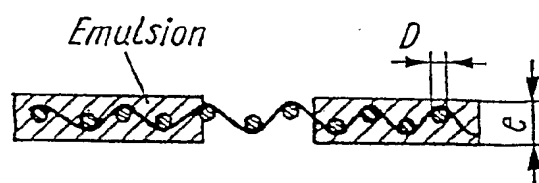


Fig. 3



Fig. 4

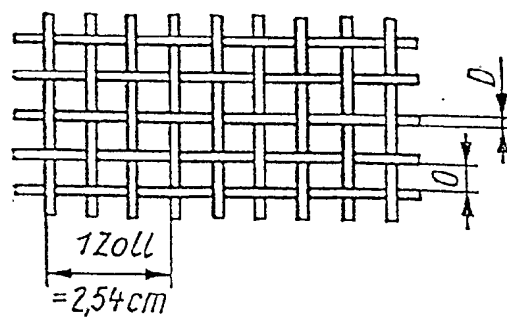


Fig. 5

3/8

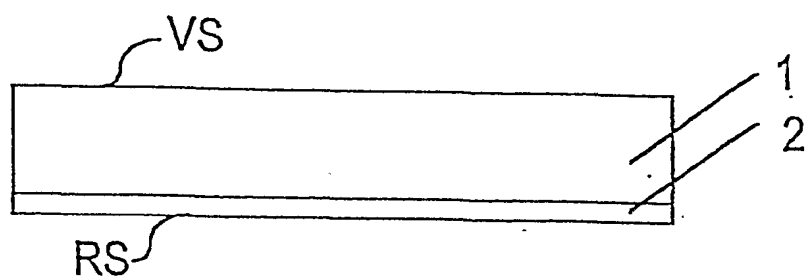


Fig. 6

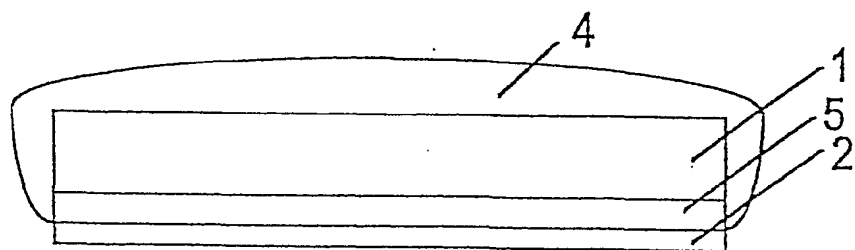


Fig. 7

4/8

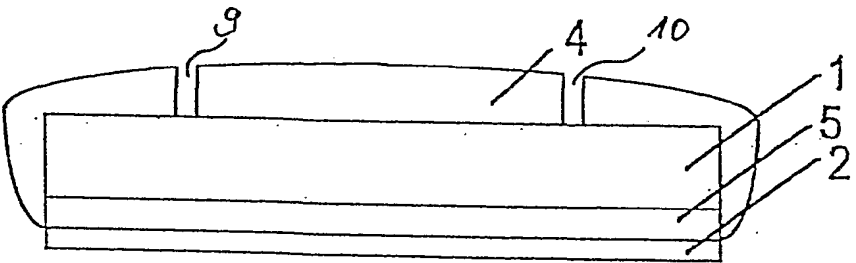


Fig. 8

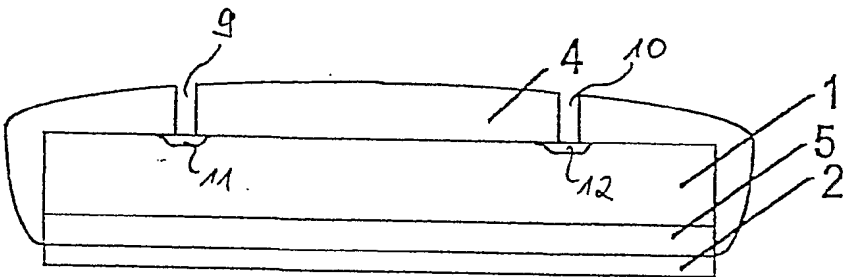


Fig. 9

5/8

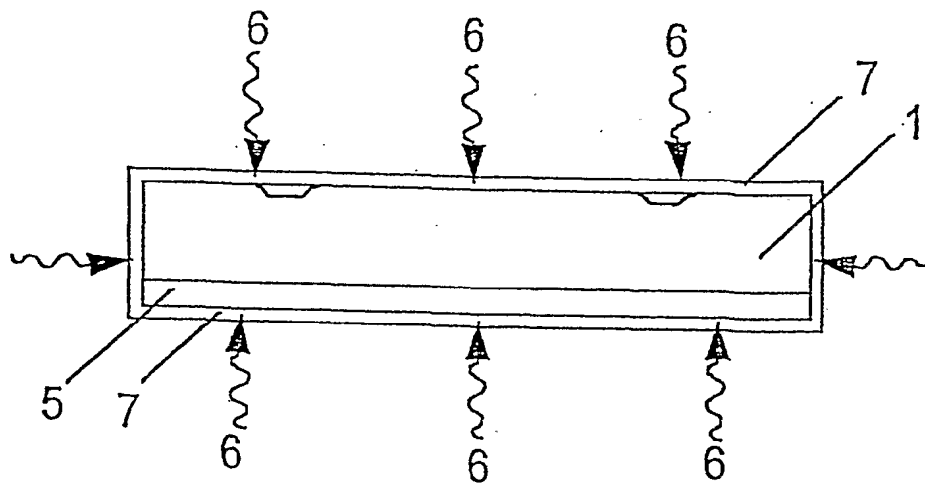


Fig. 10

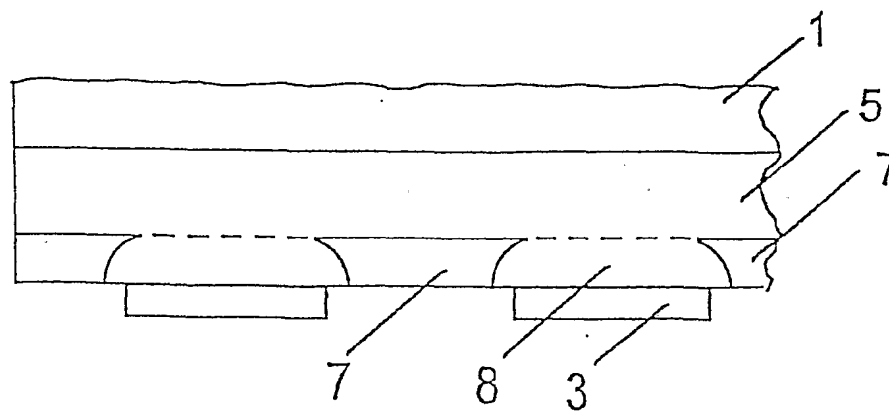


Fig. 11

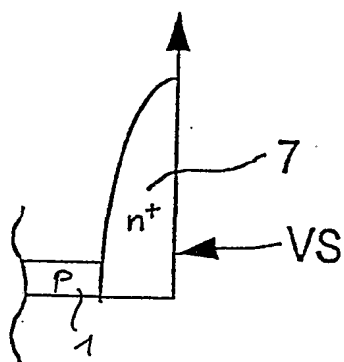


Fig. 12

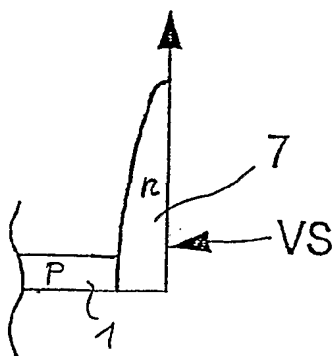


Fig. 13



7/8

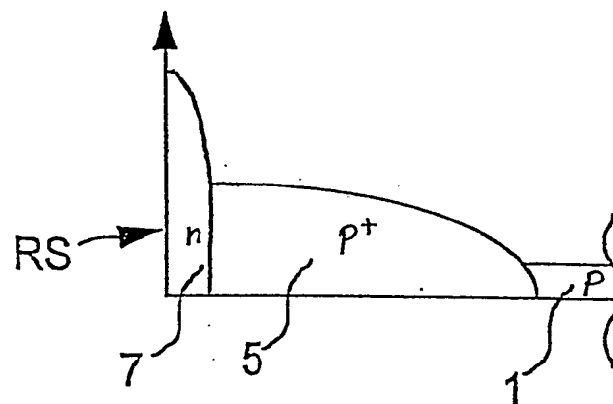


Fig. 14

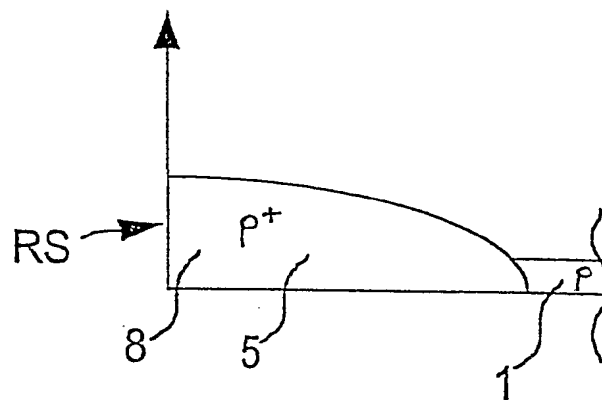


Fig. 15

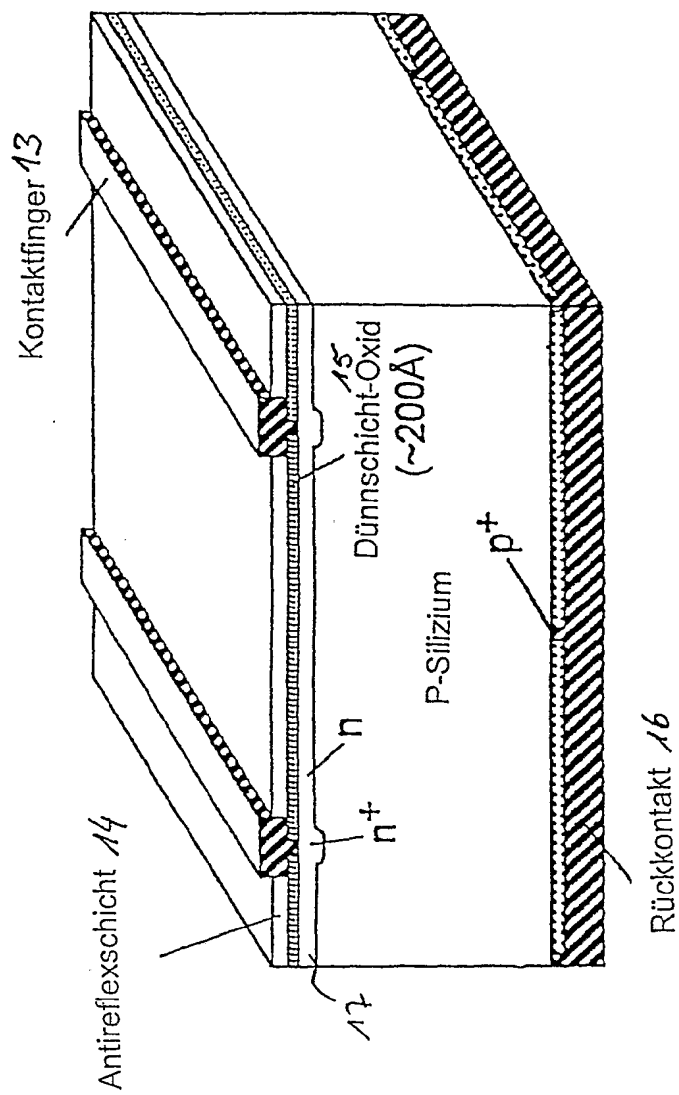


Fig. 16